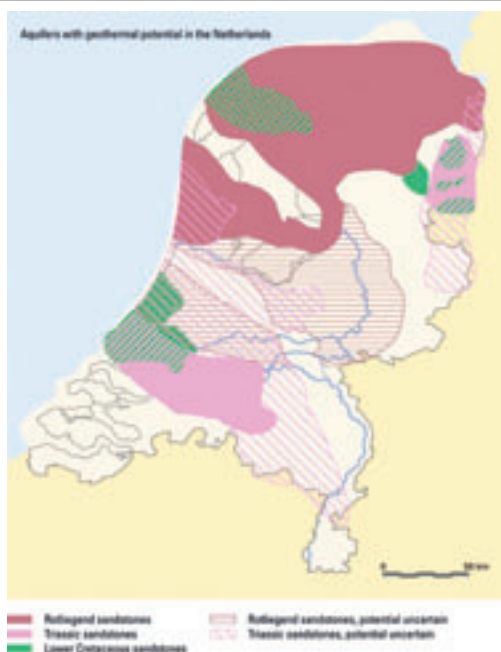


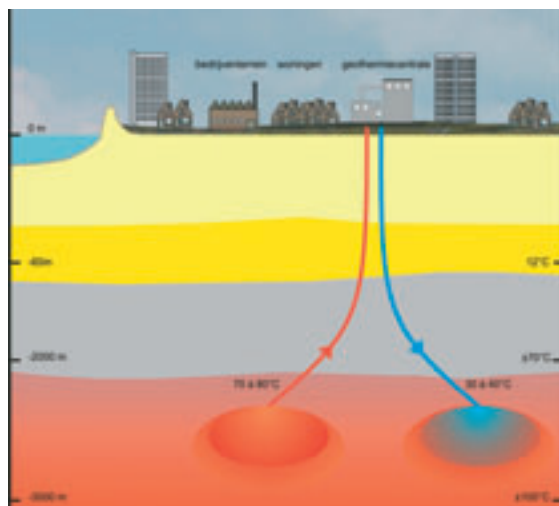
Diepe geothermie, een onontgonnen warmtebron

ir. J.J. Buienhuis

Geothermische warmte wordt gewonnen op diepten van 1.500 tot 3.000 meter, waar temperaturen heersen van 55 à 100 °C. Daarmee kunnen woningen, gebouwen of tuinbouwkassen direct worden verwarmd. Aanzienlijke delen van Nederland zijn geschikt om geothermische warmte te winnen. Er is alleen pompenergie nodig om geothermisch water uit de bodem op te pompen.



1. Potentieel van geothermie in Nederland (bron: TNO Bouw en Ondergrond).



2. Principe van winning van aardwarmte.

Geothermie is in Nederland nog tamelijk onbekend, maar biedt in tal van regio's goede perspectieven om duurzame warmte aan woningen, utiliteitsbouw, glastuinbouw en industrie te leveren. Verwarming met geothermie levert 65 procent besparing van fossiele brandstof in vergelijking met een traditionele ketel. Vanaf circa 80 TJ warmtevraag (circa 2,5 miljoen m³ gas, 3.000 woningequivalenten of 6 ha kas) is verwarmen met geothermie economisch levensvatbaar. Het eerste geothermieproject is sinds november 2007 in bedrijf en er zijn verschillende projecten in voorbereiding.

De temperatuur in de ondergrond neemt ongeveer 30 graden toe per kilometer diepte. Deze temperatuurgradiënt is een rechtstreeks gevolg van de zeer hoge temperatuur in de kern van de aarde. Startend met 10 °C op 10 m diepte, loopt de temperatuur op tot bijvoorbeeld 85 °C op 2.500 m diepte. Dit is een uitstekende temperatuur om een warmtenet in een stadswijk te voeden.

Om aardwarmte te kunnen winnen, is een watervoerende laag (aquifer) nodig om warm water uit op te pompen en weer te injecteren. Om de aquifer te bereiken, worden vanuit één locatie twee putten (een doublet) geboord: één voor onttrekking (productie) en de ander voor injectie van water (afbeelding 2). Door gedeveerd (schuinweg) te boren, komen de onttrekking en de injectie ondergronds op een flinke afstand van elkaar liggen. Zo wordt voorkomen dat het geïnjecteerde, afgekoelde water te snel de productieput bereikt en de onttrekkingstemperatuur te laag wordt. Een doublet wordt zo ontworpen dat het tenminste 30 jaar duurt voor de onttrekkingstemperatuur merkbaar gaat dalen. Overigens is het dan nog mogelijk om een tweede productieput te boren en van daaruit de warmtewinning voort te zetten. De temperatuur rond de eerste put kan dan herstellen. Het maken van de putten tot 2,5 km diepte neemt enkele maanden in beslag. Bij het ontwerp en de realisatie van geothermische putten wordt gebruik gemaakt van expertise uit de olie- en gasindustrie.

Kenmerkend voor geothermie zijn de forse benodigde investeringen voor de bronnen (7 à 15 miljoen euro). Toepassingen van geothermie zijn daarom vooral te vinden in



grootschalige projecten. Ook de aanleg van een distributienet in een stadswijk vergt een stevige investering (15 à 25 miljoen euro voor 3.000 woningen), vergelijkbaar met andere systemen zoals stadsverwarming.

ONTWERPPARAMETERS GEOTHERMIE

De dikte en doorlatendheid van de aquifer bepalen in hoge mate de stromingsweerstand en daarmee de benodigde pompenergie. Als vuistregel geldt dat de COP van een geothermisch systeem gelijk is aan het temperatuurverschil tussen onttrekking en injectie. Stel dat 150 m³/h water van 71 °C wordt gewonnen op een diepte van 2.200 m. Onderweg naar boven koelt het water al enkele graden af en is het bijvoorbeeld 70 °C als het bovengronds komt. Vervolgens geeft het water warmte af aan een warmtewisselaar, waardoor de temperatuur tot 40 °C daalt. Het geothermische water levert een nuttig verwarmingsvermogen van 5.000 kW. Om 150 m³/h op te pompen is een forse pomp nodig van circa 170 kW. De COP is de verhouding tussen nuttig geleverde, thermische vermogen en het benodigde elektrische vermogen. Hier is dat dus 5.000 / 170 = 30.

Het is voor de efficiëntie belangrijk dat het geothermische water de warmte zo goed mogelijk afgeeft en dus zoveel mogelijk in temperatuur daalt. Als bijvoorbeeld de temperatuu- daling in de warmtewisselaar geen 30, maar 15 °C zou zijn, dan zou het nuttige vermogen halveren en daarmee de COP.

De genoemde 40 °C wordt in de praktijk gedecteerd door de temperatuur in de retourleiding van het warmtenet. Voor woningen met vloerverwarming moet een retourtemperatuur van 37 à 38 °C haalbaar zijn. Met een temperatuur- sprong van enkele graden over de warmtewisselaar wordt aan de bronzijde 40 °C bereikt. In de glastuinbouw is een retour van ongeveer 30 °C haalbaar. Een verdere uitkoeling van het geothermische water is mogelijk in combinatie met een warmtepomp. Een warmtepomp kan onbruikbare lage- temperatuur warmte opwerken naar een hogere tempera- tuur, die wel bruikbaar is. Daarvoor is echter wel aandrijf- energie nodig. Een warmtepomp werkt met een COP van 'slechts' 3 à 5, veel lager dus dan van geothermie (maar wel veel beter dan de traditionele hr-ketel).

TWEEDERDE MINDER BRANDSTOF

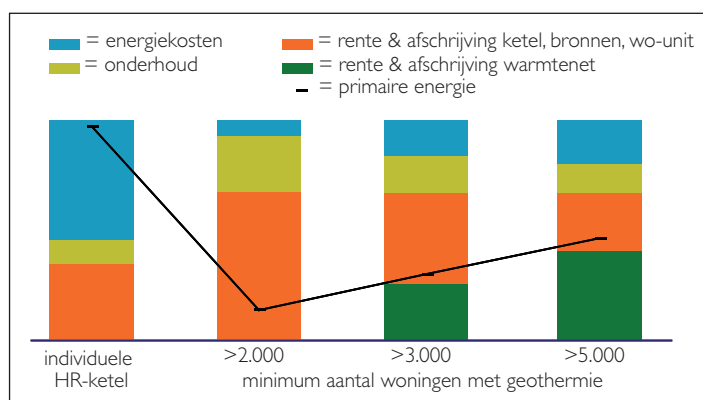
Om woningen met geothermische warmte te verwarmen, moet een distributienet naar de woningen worden aange- legd. Centraal wordt dit net verwarmd met geothermie, aangevuld met een zogenaamde piekketel voor incidentele grote vermogensvraag (afbeelding 4). Voor een warmtedis-

Kosten en energiebesparing

In de geothermie-varianten domineren de rente en afschrijving en zijn de energiekosten relatief gering (zie onderstaand diagram). Als het puur om warmteopwekking gaat, dan is een omvang van minimaal 2.000 woningen nodig om in totaal op gelijke jaarlijkse lasten te komen (2^e balk). Het distributienet voor warmte maakt echter een substantieel deel van de investeringen uit. In dicht bebouwd gebied is een schaalgrootte van 3.000 woningen nodig om per woning op dezelfde jaarlasten uit te komen. In minder dicht bebouwd gebied is de ondergrens zelfs 5.000 woningen voor dezelfde jaarlasten.

Het effect van pompenergie en leidingverliezen is overigens ook duidelijk: het primaire energiegebruik neemt toe naarmate het leidingnet uitgebreider is.

Bij een moderne, goed geïsoleerde nieuwbouwwoning blijkt hoe energiezuinig geothermie is. Met een hr-ketel bedraagt het gasverbruik jaarlijks circa 825 m³. Wordt de woning aangesloten op een warmtenet met geothermie en een piekketel, dan resteert slechts een gasverbruik van 160 m³ voor de piekketel. Daarnaast is 420 kWh elektriciteit per woning nodig om het geothermische water op te pompen en om het water in het warmtenet naar de woning te pompen. Voor de opwekking van elektriciteit in de elektriciteitscentrale is 115 m³ aardgas nodig. Gesommeerd levert dit 275 m³ aardgas voor dezelfde woning met geothermie, ofwel een besparing van 67 procent (3^e balk in het diagram).



Het diagram toont de kostenopbouw voor verschillende situaties met geothermie. De totale jaarlijkse kosten zijn gelijk gekozen aan de referentiesituatie (individuele hr-ketel). De energietarieven zijn van eind 2007, de rente is gesteld op 6 procent.

tributienet met 3.600 aangesloten woningen kan één set geobronnen ongeveer 30 procent van het maximale benodigde vermogen leveren. Om het volle vermogen met geothermie te kunnen leveren zouden dus drie geodoubletten moeten worden gemaakt. Dit is relatief erg kostbaar omdat het volle



3. Het boren van een onttrekkings- en infiltratiebron neemt enkele maanden in beslag. Rechts een boorbeitel waarmee het bodemmateriaal wordt losgemaakt.

vermogen sporadisch – in de winter als het extreem koud is – hoeft te worden geleverd. Het overgrote deel van de tijd kan worden volstaan met een beperkt vermogen. Hierdoor kan één geo-doublet op jaarbasis 70 procent van de warmte leveren voor 3.600 woningen. Met een kostbare investering in één geo-doublet kan dus al heel veel op energiekosten worden bespaard. Met een veel minder kostbare ketel wordt tweederde van het piekvermogen geleverd en wordt op jaarbasis de resterende 30 procent warmte geleverd. Een dergelijke aanpak geeft een optimum tussen energiebesparing en economie.

De kostenopbouw voor warmte uit een systeem met geothermie wijkt behoorlijk af van de situatie met een indivi-

duële hr-ketel. De energiekosten nemen met geothermie fors af, de kapitaalslasten daarentegen stijgen aanzienlijk (kader kosten en energiebesparing). Geothermie is nauwelijks gevoelig voor stijgende energieprijzen, wat voor veel partijen een aantrekkelijke gedachte is. Daar staan echter wel langere afschrijftermijnen en kapitaalkosten tegenover.

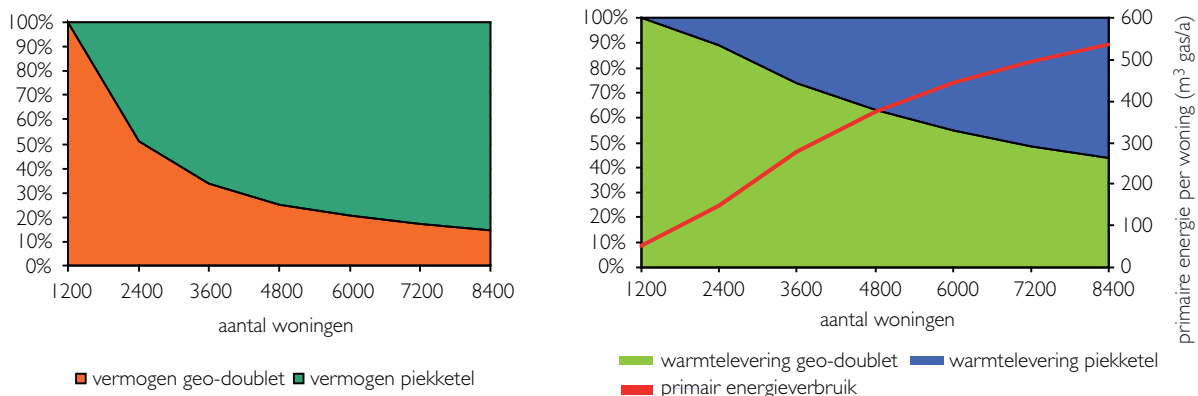
BENCHMARK

In de studiefase van het geothermieproject in Den Haag Zuidwest is een benchmark uitgevoerd voor een woonwijk, waarin onder gelijke uitgangspunten zowel de energetische als de economische prestaties van verschillende warmteleveringsopties zijn vergeleken. Als referentie gold een individuele hr-ketel. Een alternatief voor individuele woningen is micro-warmtekracht, dat naast warmte ook elektriciteit opwekt. De overige varianten hebben een gemeenschappelijk systeem voor warmtelevering: stadsverwarming, restwarmte uit industrie, uiteenlopende warmtepompvarianten en geothermie (afbeelding 5 en 6).

Geothermie en industriële restwarmte uit de industrie scoren veruit het beste op het gebied van CO₂-emissie efficiency. Onderling zijn ze vergelijkbaar, wat ook logisch is: in het ene geval is verticaal warmtetransport nodig, in het geval van restwarmte moet de warmte over een horizontale afstand worden getransporteerd.

Ten opzichte van de hr-ketel hebben alle alternatieven relatief hoge kapitaalslasten. Voor een aantal varianten wordt dat weer goedge maakt door lage energiekosten, zodat de totale jaarlijkse lasten ongeveer gelijk zijn.

In de afgelopen 10 jaar zijn de energiekosten voor huishou-



4. Het verband tussen het aantal woningen en de bijdrage van één geo-doublet. Een geodoublet van 6 MW kan het volledige vermogen voor 1.200 woningen leveren (links). Bij grotere aantallen moet een piekkel worden toegevoegd. De warmtelevering door geothermie neemt veel minder snel af dan het vermogen (rechts). De rode curve geeft het totale primaire energieverbruik per woning. Hierin is de pompenergie van het geo-doublet en het aardgasverbruik van de piekkel verwerkt.

dens gemiddeld 100 procent gestegen. Als deze trend zich voortzet zijn de energiezuinige varianten, zoals geothermie, duidelijk in het voordeel. In de benchmark is gerekend met een rente van 4,5 procent. Als de rente stijgt, zijn de kapitaalintensive varianten in het nadeel.

Energiekosten en renteontwikkeling zijn lastig te voorspellen. De keuze voor een type energievoorziening blijft vooral ook een kwestie van lange termijn visie, die niet alleen aan marktpartijen met korte termijn belangen, kan worden overgelaten.

ENERGIEPRESTATIE

In de benchmark zijn tevens voor een tussenwoning de EPC-waarden bepaald (afbeelding 7). Uitgangspunt voor de woning was een EPC-waarde van 0,8 op basis van een hr-combiketel. Woningen die worden aangesloten op een geothermiesysteem spelen in op de aangekondigde EPC-aanscherpingen van een EPC van 0,6 in 2011 en van 0,4 in 2015.

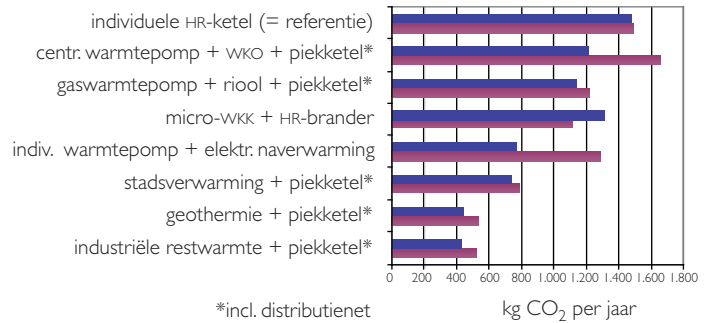
Geothermie is niet de enige route naar een lage EPC-waarde. Ook met bouwkundige maatregelen en de toepassing van zonne-energie zijn lage waarden bereikbaar. Op dit moment is geothermie wel de meest kostenefficiënte wijze om een EPC van 0,4 te bereiken (afbeelding 8).

De meerinvesteringen van extreme bouwkundige maatregelen (isolatie, glas en warmteterugwinning) zijn hoog in verhouding tot de EPC-winst. Dit geldt ook voor de combinatie van bouwkundige maatregelen en zonne-energie. Een EPC van 0,4 is met deze combinatie wel bereikbaar, maar vereist de inzet van een zonneboiler en circa 12 m² PV-panelen: een meerinvestering van ongeveer 13.000 euro. Daar tegenover staat dat deze combinatie per woning toepasbaar is en daarmee ook mogelijkheden biedt voor kleinschalige projecten.

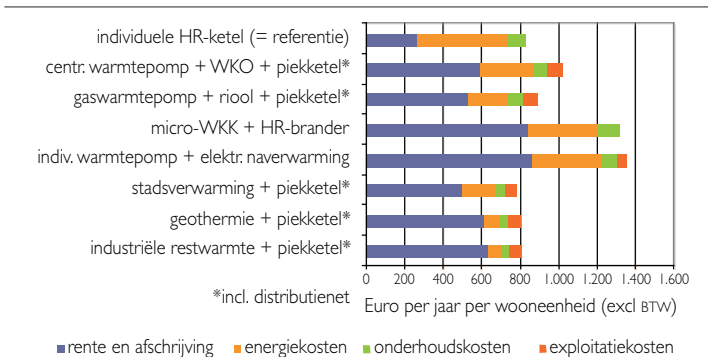
ELEKTRICITEIT EN KOUDE

Naast het direct verwarmen van gebouwen of processen, kan geothermische warmte van 100 °C en hoger ook voor andere doeleinden worden gebruikt. Met een Organic Rankine Cycle (OCR) kan de warmte worden omgezet in elektriciteit. Het opwekkingsrendement is echter bescheiden, namelijk 8 – 14 procent, afhankelijk van de beschikbare temperatuur. Het geothermische water koelt in deze processtap af tot 70 à 75 °C en kan daarna alsnog worden gebruikt voor verwarming van woningen en utiliteitsgebouwen.

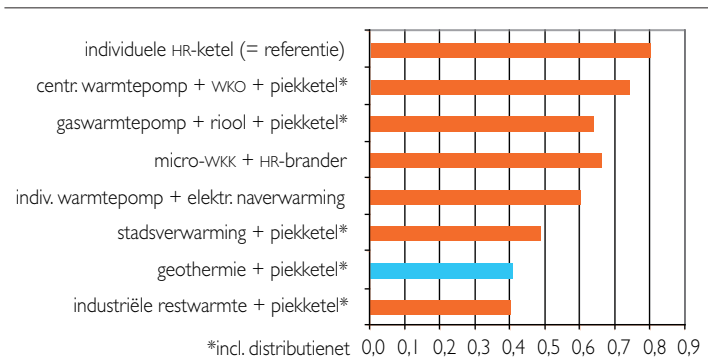
De rentabiliteit van elektriciteit uit geothermie is sterk afhankelijk van de vergoeding per kWh elektriciteit (figuur 9). In onder andere Duitsland en IJsland zijn al geothermische elektriciteitscentrales in bedrijf. In IJsland gelden gunstige



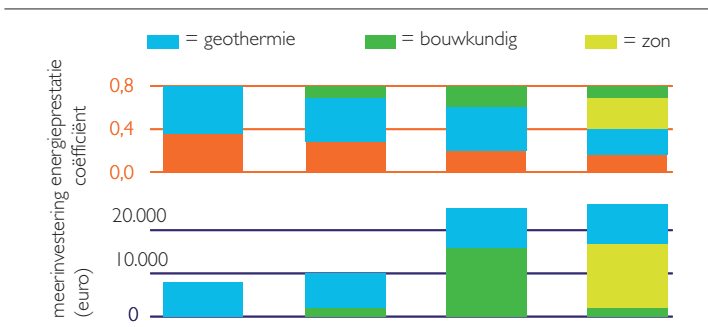
5. De CO₂-uitstoot bij verschillende verwarmingssystemen voor woningen. De paarse balken gelden bij het landelijk gemiddelde opwekkingsrendement voor elektriciteit in 2006 (41,4 procent inclusief distributieverlies), de blauwe balken gelden voor het beste opwekkingsrendement (54,8 procent). De 'energetische concurrentiekracht' van de micro-warmtekracht neemt af naarmate het opwekkingsrendement landelijk stijgt.



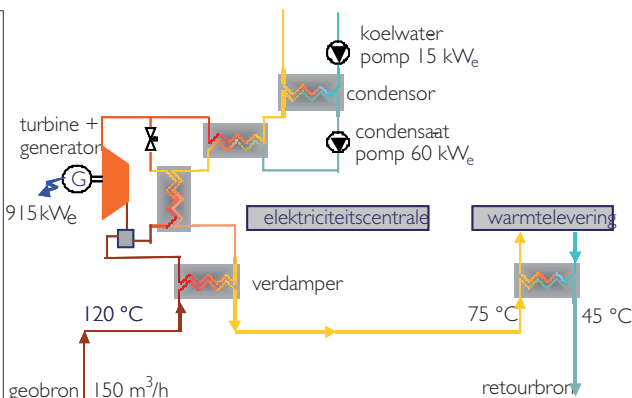
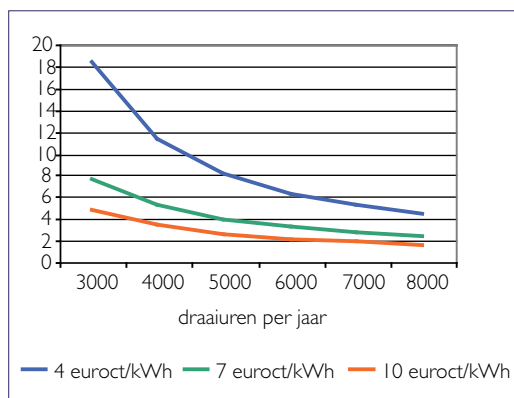
6. Vergelijking jaarlijkse lasten verschillende opties voor verwarming van woningen. Exploitatie zijn de kosten om gemeenschappelijke energiesystemen te beheren, facturatie te verzorgen enzovoorts.



7. Vergelijking van de EPC-waarden bij de verschillende opties voor een tussenwoning.



8. Verlaging van de EPC-waarde met geothermie, bouwkundige maatregelen en zonne-energie, inclusief de bijbehorende meerinvesteringen.



9. Met duurzame geothermische warmte kan 'groene' elektriciteit worden opgewekt in een Organic Rankine Cycle (ORC). In de grafiek staan de geraamde terugverdientijden bij verschillende vergoedingen van de opgewekte elektriciteit. Duidelijk is dat de installatie voldoende draaiuren moet maken om rendabel te zijn. Let op: deze grafiek geldt alleen voor het ORC-proces zelf, exclusief hulpapparaten, koeltorens en dergelijke.

bodemcondities voor beschikbare geowarmte. In Duitsland spelen de gunstige teruglevertarieven voor groene elektriciteit een sterke rol.

Geothermische warmte kan ook worden omgezet in koude met absorptiekoeling. Absorptiekoeling werd vroeger vooral ingezet om koude uit heet water of lage-druk stoom te maken. De vereiste temperatuur is minimaal 90 °C, al zijn er ook sorptieprocessen in ontwikkeling die ook bij lagere temperaturen (tot circa 50 à 60 °C) al koude opleveren. Voor deze koelprocessen geldt echter wel dat alle aandrijfwarmte, plus de onttrokken koelwarmte uit het gebouw of koelproces, uiteindelijk met een koeltoren moeten worden afgevoerd naar de atmosfeer. Hiervoor zijn pompen en ventilatoren nodig die weer elektriciteit verbruiken.

NEDERLANDSE INITIATIEVEN

Zowel in de gebouwde omgeving als in de glastuinbouw zijn projecten gestart om de mogelijkheden van geothermie te onderzoeken. Zo is sinds november 2007 een geothermieproject in bedrijf bij glastuinder Van den Bosch in Bleiswijk. Deze tuinder verwarmt 7 ha kas met vleestomaten met geothermische warmte van 60 °C van 1.650 m diepte. Op dit moment (juni 2008) is de marktprijs voor aardgas 37 eurocent (commodity). Bij dergelijke prijsniveaus wordt geothermie zeer concurrerend. De glastuinbouw-sector heeft dan ook veel belangstelling voor deze techniek.

In Den Haag Zuidwest zijn voorbereidingen aan de gang om 4.000 woningen en 20.000 m² utiliteitsbouw op een geothermie-net aan te sluiten. De ondergrond is nauwkeurig in kaart gebracht, op basis waarvan de putten zijn ontworpen. De energiecentrale bestaat uit geothermie, een pekketel en een koppeling met het bestaande stadsverwarmingnet voor wederzijdse redundantie.

Het Haagse project heeft geleerd dat een technische en economische haalbaarheid alleen, niet voldoende is om dit soort grootschalige projecten te doen slagen. Transparantie, vertrouwen, durf en samenwerking zijn eveneens noodzakelijke voorwaarden. Het is dan ook bijzonder dat voor dit project drie woningcorporaties, energiebedrijven en de ge-

meente Den Haag in 2006 een convenant hebben getekend, waarin zij de intentie uitspraken om gezamenlijk een geothermieproject te ontwikkelen. De partijen zullen in een nieuw bedrijf – Aardwarmte Den Haag vof – de exploitatie van het energiesysteem ter hand nemen.

Voor het stadsgewest Haaglanden, dat onder meer Westland, Den Haag, Wassenaar, Zoetermeer en Delft omvat, is een quickscan uitgevoerd naar het potentieel van geothermie. Zowel de Rijswijkzanden op een diepte van 1.600 – 2.800 m, als de dieper gelegen Trias (3.000 – 4.400 m) bieden de mogelijkheid om aardwarmte te winnen. Voorzichtige inschattingen komen uit op ongeveer 700.000 woningen (of woonequivalenten) die gedurende 40 jaar met aardwarmte van warmte kunnen worden voorzien.

Voor de provincie Zuid-Holland is de technisch/economische haalbaarheid van geothermie voor tien voorbeeldprojecten globaal onderzocht. Ook hieruit blijkt dat geothermie een fors energiebesparingspotentieel biedt en bij de huidige energieprijzontwikkeling economisch verantwoord kan zijn.

CONCLUSIE

Geothermie levert duurzame warmte waarmee 60 à 70 procent energiebesparing en CO₂-reductie kan worden bereikt. Er is een aanzienlijke schaalgrootte – minimaal 3.000 woningequivalenten – vereist om de investeringen rendabel te maken. Dit maakt samenwerking tussen corporaties, verenigingen van eigenaren, gemeenten en de energiesector noodzakelijk om projecten van de grond te krijgen. In de glastuinbouw liggen kansen voor teelten die veel warmte vragen, zoals tomaten, paprika's en komkommers. Geothermie lijkt hoe dan ook onmisbaar om de ambitieuze doelstellingen van Europa en Nederland (20 – 30 procent minder CO₂-uitstoot in 2020) te realiseren.

Auteur

ir. J.J. Buitenhuis, DWA installatie- en energieadvies, Bodegraven.

